

KpH. Schrift sh. Rückmeldung!

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



04 OCT 2004



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. Oktober 2003 (16.10.2003)

PCT

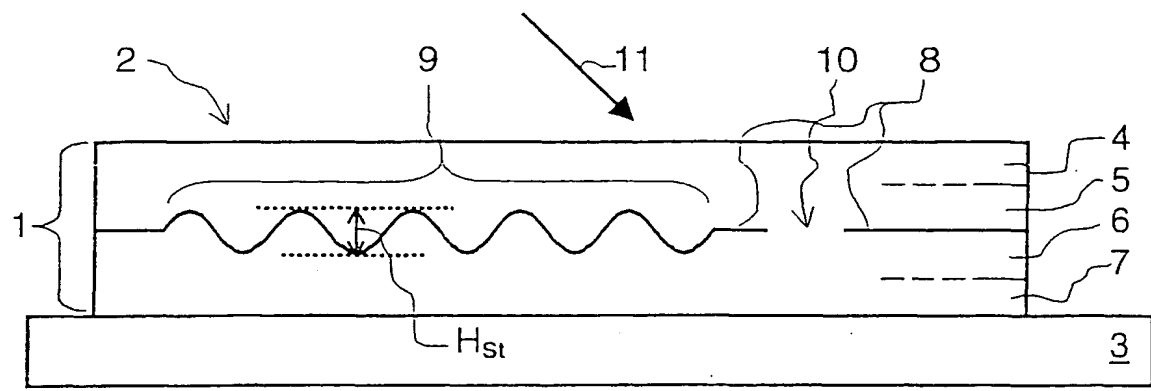
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/084764 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: B42D (72) Erfinder; und
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/03482 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STAUB, René [CH/CH]; Hofmatt 24, CH-6332 Hagendorn (CH). SCHILLING, Andreas [DE/CH]; Riedmatt 28A, CH-6300 Zug (CH). TOMPKIN, Wayne, Robert [US/CH]; Oesterliwaldweg 2, CH-5400 Baden (CH).
(22) Internationales Anmeldedatum: 3. April 2003 (03.04.2003)
(25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: ZINSINGER, Norbert; Louis Pöhlau Lohrenz, Postfach 33 55, 90014 Nürnberg (DE).
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität: 102 16 562.9 5. April 2002 (05.04.2002) DE (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SECURITY ELEMENT COMPRISING MICRO- AND MACROSTRUCTURES

(54) Bezeichnung: SICHERHEITSELEMENT MIT MIKRO- UND MAKROSTRUKTUREN



(57) Abstract: The invention relates to a difficult-to-copy security element (2) that comprises a composite structure (1) with microscopically fine, optically effective structures (9) of a pattern that are embedded between two layers (5; 6) of the composite structure (1). In a plane defined by coordinate axes x and y of the pattern, in a boundary layer (8) between the layers (5; 6), the optically effective structures (9) are molded into subareas of a holographically not copiable security feature. In at least one subarea, the optically effective structure (9) is a diffractive structure (S, S*, S**) produced by additive overlay of a macroscopic overlay function (M) with a microscopically fine relief profile (R). Both the relief profile (R), the overlay function (M) and the diffractive structure (S, S*, S**) are functions of the coordinates x and y. The relief profile (R) is a light-diffractive or light-scattering optically effective structure (9) and maintains, following the overlay function (M), the predetermined profile height. The overlay function (M) is at least partially continuous and no periodic delta function or boxcar function. As compared to the relief profile (R), the overlay function (M) progresses slowly. When the composite structure (1) is tilted and turned, the observer perceives in the highlighted subareas bright, continuously moving stripes that depend on the direction of observation.

(57) Zusammenfassung: Ein schwer kopierbares Sicherheitselement (2) umfasst einen Schichtverbund (1), der zwischen zwei Schichten (5, 6) des Schichtverbunds (1) eingebettete, mikroskopisch feine optisch wirksame Strukturen (9) eines Flächenmusters aufweist. In einer von Koordinatenachsen x und y aufgespannten Ebene des Flächenmusters sind in eine Grenzfläche (8) zwischen den Schichten (5; 6) in

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/084764 A2

Sicherheitselement mit Mikro- und Makrostrukturen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Sicherheitselement gemäss dem
10 Oberbegriff des Anspruchs 1.

Solche Sicherheitselemente bestehen aus einem dünnen Schichtverbund aus Kunststoff, wobei in den Schichtverbund wenigstens Reliefstrukturen aus der Gruppe Beugungsstrukturen, Licht streuende Strukturen und ebene Spiegelflächen eingebettet sind. Die aus dem dünnen Schichtverbund geschnittenen
15 Sicherheitselemente werden auf Gegenstände geklebt zum Beglaubigen der Echtheit der Gegenstände.

Der Aufbau des dünnen Schichtverbunds und die dazu verwendbaren Materialien sind beispielsweise in der US 4,856,857 beschrieben. Aus der GB 2 129 739 A ist zudem bekannt, den dünnen Schichtverbund mit Hilfe einer
20 Trägerfolie auf den Gegenstand aufzubringen.

Eine Anordnung der eingangs genannten Art ist aus der EP 0 429 782-B1 bekannt. Das auf ein Dokument aufgeklebte Sicherheitselement weist ein z.B. aus der EP 0 105 099 A1 bekanntes, optisch variables Flächenmuster aus mosaikartig angeordneten Flächenteilen mit bekannten Beugungsstrukturen auf. Damit ein
25 gefälschtes Dokument zum Vortäuschen einer scheinbaren Echtheit nicht ohne deutliche Spuren mit einem nachgemachten, aus einem echten Dokument ausgeschnittenen oder von einem echten Dokument abgelösten Sicherheitselement versehen werden kann, werden in das Sicherheitselement und in angrenzende Teile des Dokuments Sicherheitsprofile eingeprägt. Das echte Dokument
30 unterscheidet sich durch die sich nahtlos vom Sicherheitselement in angrenzende Teile des Dokuments erstreckenden Sicherheitsprofile. Das Einprägen der

Sicherheitsprofile stört das Erkennen des optisch variablen Flächenmusters. Insbesondere variiert die Position des Prägestempels auf dem Sicherheitselement von Exemplar zu Exemplar des Dokuments.

Es ist auch bekannt, die Sicherheitselemente mit Merkmalen auszurüsten, die ein Nachmachen bzw. ein Kopieren mit üblichen holographischen Mitteln erschweren oder gar unmöglich machen. Beispielsweise sind in der EP 0 360 969 A1 und WO 99/38038 Anordnungen von asymmetrischen optischen Gittern beschrieben. Die Flächenelemente weisen dort Gitter auf, die, unter verschiedenen Azimutwinkeln eingesetzt, ein in der Helligkeit moduliertes Muster im Flächenmuster des Sicherheitselements bilden. In einer holographischen Kopie wird das in der Helligkeit modulierte Muster nicht wiedergegeben. Sind, wie in der WO 98/26373 beschrieben, die Strukturen der Gitter kleiner als die Wellenlänge des zum Kopieren eingesetzten Lichts, werden solche submikroskopische Strukturen nicht mehr erfasst und somit in der Kopie nicht in der gleichen Art wiedergegeben.

Die in den beispielhaft genannten Dokumenten EP 0 360 969 A1, WO 98/26373 und WO 99/38038 beschriebene Schutzvorrichtung gegen das holographische Kopieren wird mit produktionstechnischen Schwierigkeiten erkauf.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein kostengünstiges, neuartiges Sicherheitselement zu schaffen, das eine hohe Resistenz gegen Fälschungsversuche, z.B. mittels eines holographischen Kopiervorgangs aufweisen soll.

Diese Aufgabe wird durch ein Sicherheitselement aus einem Schichtverbund mit zwischen Schichten des Schichtverbunds eingebetteten, mikroskopisch feinen optisch wirksamen Strukturen eines Flächenmusters gelöst, wobei die optisch wirksamen Strukturen in Flächenteilen eines Sicherheitsmerkmals in einer von Koordinatenachsen aufgespannten Ebene des Flächenmusters in eine reflektierende Grenzfläche zwischen den Schichten abgeformt sind und wenigstens ein Flächenteil mit Abmessungen grösser als 0,4 mm eine durch additive bzw. subtraktive Überlagerung einer makroskopischen Struktur beschreibenden Überlagerungsfunktion mit einem mikroskopisch feinen Reliefprofil gebildete Beugungsstruktur aufweist, wobei die Überlagerungsfunktion, das

Reliefprofil und die Beugungsstruktur Funktion der Koordinaten sind und das Reliefprofil eine lichtbeugende oder lichtstreuende optisch wirksame Struktur beschreibt, die der Überlagerungsfunktion folgend das vorbestimmte Reliefprofil beibehält, und die wenigstens stückweise stetige Überlagerungsfunktion wenigstens in Teilbereichen gekrümmt ist, keine periodische Dreieck- oder Rechteckfunktion ist und sich im Vergleich zum Reliefprofil langsam ändert.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

- Figur 1 ein Sicherheitselement im Querschnitt,
- Figur 2 das Sicherheitselement in Draufsicht,
- Figur 3 Reflexion und Beugung an einem Gitter,
- Figur 4 Beleuchtung und Beobachtung des Sicherheitselements,
- Figur 5 Reflexion und Beugung an einer Beugungsstruktur,
- Figuren 6 das Sicherheitsmerkmal unter verschiedenen Kippwinkeln,
- Figur 7 eine Überlagerungsfunktion und die Beugungsstruktur im Querschnitt,
- Figuren 8 das Ausrichten des Sicherheitselements mittels Kennmarken,
- Figur 9 einen lokalen Neigungswinkel der Überlagerungsfunktion,
- Figuren 10 das Ausrichten des Sicherheitselements mittels Farbkontrast im Sicherheitsmerkmal,
- Figur 11 die Beugungsstruktur mit symmetrischer Überlagerungsfunktion,
- Figuren 12 das Sicherheitsmerkmal mit Farbumschlag und
- Figur 13 eine asymmetrische Überlagerungsfunktion.

In der Figur 1 bedeutet 1 einen Schichtverbund, 2 ein Sicherheitselement, 3 ein Substrat, 4 eine Deckschicht, 5 eine Abformschicht, 6 eine Schutzschicht, 7

eine Kleberschicht, 8 eine reflektierende Grenzfläche, 9 eine optisch wirksame Struktur und 10 eine transparente Stelle in der reflektierenden Grenzfläche 8. Der Schichtverbund 1 besteht aus mehreren Lagen von verschiedenen, nacheinander auf eine hier nicht gezeigte Trägerfolie aufgetragenen Kunststoffschichten und umfasst in der angegebenen Reihenfolge typisch die Deckschicht 4, die Abformschicht 5, die Schutzschicht 6 und die Kleberschicht 7. Die Deckschicht 4 und die Abformschicht 5 sind für einfallendes Licht 11 transparent. Falls auch die Schutzschicht 6 und die Kleberschicht 7 transparent sind, werden hier nicht gezeigte, auf der Oberfläche des Substrats 3 angebrachte Indicia durch die transparente Stelle 10 erkennbar. Als Trägerfolie dient in einer Ausführung die Deckschicht 4 selbst, in einer anderen Ausführung dient eine Trägerfolie zum Applizieren des dünnen Schichtverbunds 1 auf das Substrat 3 und wird danach vom Schichtverbund 1 entfernt, wie dies z.B. in der eingangs erwähnten GB 2 129 739 A beschrieben ist.

Die gemeinsame Berührungsfläche zwischen der Abformschicht 5 und der Schutzschicht 6 ist die Grenzfläche 8. In die Abformschicht 5 sind die optisch wirksamen Strukturen 9 mit einer Strukturhöhe H_{st} eines optisch variablen Musters abgeformt. Da die Schutzschicht 6 die Täler der optisch wirksamen Strukturen 9 füllt, weist die Grenzfläche 8 die Form der optisch wirksamen Strukturen 9 auf. Um eine hohe Wirksamkeit der optisch wirksamen Strukturen 9 zu erhalten, ist die Grenzfläche 8 mit einem Metallbelag versehen, vorzugsweise aus den Elementen der Tabelle 5 der eingangs erwähnten US 4,856,857, insbesondere Aluminium, Silber, Gold, Kupfer, Chrom, Tantal usw., der als Reflexionsschicht die Abformschicht 5 und die Schutzschicht 6 trennt. Die elektrische Leitfähigkeit des Metallbelags bewirkt ein hohes Reflektionsvermögen für sichtbares einfallendes Licht 11 an der Grenzfläche 8. Jedoch eignen sich anstelle des Metallbelags auch eine oder mehrere Schichten eines der bekannten, transparenten, anorganischen Dielektrika, die z.B. in den Tabellen 1 und 4 der eingangs erwähnten US 4,856,857 aufgeführt sind, oder die Reflexionsschicht weist eine mehrschichtige Interferenzschicht auf, wie z.B. eine zweischichtige Metall- Dielektrikum-Kombination oder eine Metall- Dielektrikum- Metall- Kombination. Die

Reflexionsschicht ist in einer Ausführung strukturiert, d.h. sie bedeckt die Grenzfläche 8 nur teilweise und in vorbestimmten Zonen der Grenzfläche 8.

Der Schichtverbund 1 wird als Kunststofflaminat in Form einer langen Folienbahn mit einer Vielzahl von nebeneinander angeordneten Kopien des optisch variablen Musters hergestellt. Aus der Folienbahn werden die Sicherheitselemente 2 beispielsweise ausgeschnitten und mittels der Kleberschicht 7 mit einem Substrat 3 verbunden. Das Substrat 3, meist in Form eines Dokuments, einer Banknote, einer Bankkarte, eines Ausweises oder eines anderen wichtigen bzw. wertvollen Gegenstandes, wird mit dem Sicherheitselement 2 versehen, um die Echtheit des Gegenstandes zu beglaubigen.

Die Figur 2 zeigt einen Ausschnitt des Substrats 3 mit dem Sicherheitselement 2. Durch die Deckschicht 4 (Fig. 1) und die Abformschicht 5 (Fig. 1) hindurch ist ein Flächenmuster 12 sichtbar. Das Flächenmuster 12 liegt in einer von den Koordinatenachsen x , y aufgespannten Ebene und enthält ein Sicherheitsmerkmal 16 aus wenigstens einem mit dem blossen Auge in der Kontur gut erkennbaren Flächenteil 13, 14, 15, d.h. die Abmessungen des Flächenteils sind zumindest in einer Richtung grösser als 0.4 mm. Das Sicherheitsmerkmal 16 ist in der Zeichnung der Figur 2 aus darstellerischen Gründen doppelt umrahmt. In einer anderen Ausführung ist das Sicherheitsmerkmal 16 von einem Mosaik aus Flächenelementen 17 bis 19 des in der eingangs erwähnten EP 0 105 099 A1 beschriebenen Mosaiks umgeben. In den Flächenteilen 13 bis 15 und gegebenenfalls in den Flächenelementen 17 bis 19 sind die optisch wirksamen Strukturen 9 (Fig. 1), wie mikroskopisch feine diffraktive Gitter, mikroskopisch feine, lichtstreuende Reliefstrukturen oder ebene Spiegelflächen in die Grenzfläche 8 (Fig. 1) abgeformt.

Anhand der Figur 3 wird beschrieben, wie das auf die Grenzfläche 8 (Fig. 1) einfallende Licht 11 durch die optisch wirksame Struktur 9 reflektiert und vorbestimmt abgelenkt wird. Das einfallende Licht 11 fällt in der Beugungsebene 20, die senkrecht auf der Oberfläche des Schichtverbunds 1 mit dem Sicherheitselement 2 (Fig. 1) steht und eine Flächennormale 21 enthält, auf die optisch wirksame Struktur 9 im Schichtverbund 1 ein. Das einfallende Licht 11 ist ein paralleles Bündel von Lichtstrahlen und schliesst mit der Flächennormalen 21

den Einfallswinkel α ein. Ist die optisch wirksame Struktur 9 eine ebene Spiegelfläche parallel zur Oberfläche des Schichtverbunds 1, bilden die Flächennormale 21 und die Richtung des reflektierten Lichts 22 die Schenkel des Reflexionswinkels β , wobei $\beta = -\alpha$. Falls die optisch wirksame Struktur 9 eines der bekannten Gitter ist, lenkt das Gitter das einfallende Licht 11 in verschiedene, durch die Spatialfrequenz f des Gitters bestimmte Beugungsordnungen 23 bis 25 ab, wobei vorausgesetzt ist, dass der das Gitter beschreibende Gittervektor in der Beugungsebene 20 liegt. Die im einfallenden Licht 11 enthaltenen Wellenlängen λ werden unter den vorbestimmten Winkeln in die verschiedenen Beugungsordnungen 23 bis 25 abgelenkt. Beispielsweise lenkt das Gitter violettes Licht ($\lambda = 380 \text{ nm}$) gleichzeitig als Strahl 26 in die plus 1. Beugungsordnung 23 als Strahl 27, in die minus 1. Beugungsordnung 24 und als Strahl 28 in die minus 2. Beugungsordnung 25 ab. Lichtanteile mit längeren Wellenlängen λ des einfallenden Lichts 11 werden in Richtungen mit grösseren Beugungswinkeln zur Flächennormalen 21 austreten, beispielsweise rotes Licht ($\lambda = 700 \text{ nm}$) in die mit den Pfeilen 29, 30, 31 bezeichneten Richtungen. Das polychromatische einfallende Licht 11 wird infolge der Beugung am Gitter in die Lichtstrahlen der verschiedenen Wellenlängen λ des einfallenden Lichts 11 aufgefächert, d.h. der sichtbare Teil des Spektrums erstreckt sich im Bereich zwischen dem violetten Lichtstrahl (Pfeil 26 bzw. 27 bzw. 28) und dem roten Lichtstrahl (Pfeil 29 bzw. 30 bzw. 31) in jeder Beugungsordnung 23 bzw. 24 bzw. 25. Das in die nullte Beugungsordnung gebeugte Licht ist das unter dem Ausfallwinkel β reflektierte Licht 22.

Die Figur 4 zeigt ein in den Flächenelementen 17 (Fig. 2) bis 19 (Fig. 2) abgeformtes Beugungsgitter 32, dessen mikroskopisch feines Reliefprofil $R(x, y)$ beispielsweise einen sinusförmigen, periodischen Profilquerschnitt von konstanter Profilhöhe h und mit der Spatialfrequenz f aufweist. Das ausgemittelte Relief des Beugungsgitters 32 legt eine parallel zur Deckschicht 4 angeordnete Mittelfläche 33 fest. Das parallel einfallende Licht 11 durchdringt die Deckschicht 4 und die Abformschicht 5 und wird an der optisch wirksamen Struktur 9 (Fig. 1) des Beugungsgitters 32 abgelenkt. Die parallelen gebeugten Lichtstrahlen 34 der Wellenlänge λ verlassen das Sicherheitselement 2 in die Blickrichtung eines Beobachters 35, der bei der Beleuchtung des Flächenmusters 12 (Fig. 2) mit dem

parallel-einfallenden Licht 11 die farbigen, hell erstrahlenden Flächenelemente 17, 18, 19 erblickt.

In der Figur 5 liegt die Beugungsebene 20 in der Zeichnungsebene. In wenigstens einem der Flächenteile 13 (Fig. 2) bis 15 (Fig. 2) des

Sicherheitsmerkmals 16 (Fig. 2) ist eine Beugungsstruktur $S(x, y)$ abgeformt, deren Mittelfläche 33 gewölbt oder lokal zur Oberfläche des Schichtverbunds 1 geneigt ist. Die Beugungsstruktur $S(x, y)$ ist eine Funktion der Koordinaten x und y in der zur Oberfläche des Schichtverbunds 1 parallelen Ebene des Flächenmusters 12 (Fig. 2), in der die Flächenteile 13, 14 (Fig. 2), 15 liegen. In jedem Punkt $P(x, y)$ bestimmt die Beugungsstruktur $S(x, y)$ einen zur Flächennormalen 21 parallelen Abstand z zur Ebene des Flächenmusters 12. Allgemeiner beschrieben, ist die Beugungsstruktur $S(x, y)$ die Summe aus dem Reliefprofil $R(x, y)$ (Fig. 4) des Beugungsgitters 32 (Fig. 4) und einer eindeutig definierten Überlagerungsfunktion $M(x, y)$, der Mittelfläche 33, wobei $S(x, y) = R(x, y) + M(x, y)$. Beispielsweise erzeugt das Reliefprofil $R(x, y)$ das periodische Beugungsgitter 32 mit dem Profil einer der bekannten sinusförmigen, asymmetrisch bzw. symmetrisch sägezahnförmigen oder rechteckförmigen Formen.

In einer anderen Ausführung ist das mikroskopisch feine Reliefprofil $R(x, y)$ der Beugungsstruktur $S(x, y)$ eine Mattstruktur anstelle des periodischen Beugungsgitters 32. Die Mattstruktur ist eine mikroskopisch feine, stochastische Struktur mit einer vorbestimmten Streucharakteristik für das einfallende Licht 11, wobei bei einer anisotropen Mattstruktur anstelle des Gittervektors eine Vorzugsrichtung tritt. Die Mattstrukturen streuen das senkrecht einfallende Licht in einen Streukegel mit einem durch das Streuvermögen der Mattstruktur vorbestimmten Öffnungswinkel und mit der Richtung des reflektierten Lichts 22 als Kegelachse. Die Intensität des Streulichts ist z.B. auf der Kegelachse am grössten und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Kegelachse ab, wobei das in Richtung der Mantellinien des Streukegels abgelenkte Licht für einen Beobachter gerade noch erkennbar ist. Der Querschnitt des Streukegels senkrecht zur Kegelachse ist rotationssymmetrisch bei einer hier "isotrop" genannten Mattstruktur. Ist der Querschnitt in der Vorzugsrichtung hingegen gestaucht d.h. elliptisch verformt mit

der kurzen Hauptachse der Ellipse parallel zur Vorzugsrichtung, wird die Mattstruktur hier mit "anisotrop" bezeichnet.

Wegen der additiven bzw. subtraktiven Überlagerung wird die Profilhöhe h (Fig. 4) des Reliefprofils $R(x, y)$ im Bereich der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ nicht verändert, d.h. das Reliefprofil $R(x, y)$ folgt der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$. Die eindeutig definierte Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ ist wenigstens stückweise differenzierbar und wenigstens in Teilbereichen gekrümmt, d.h. $\Delta M(x, y) \neq 0$, periodisch oder aperiodisch und ist keine periodische Dreieck- oder Rechteckfunktion. Die periodischen Überlagerungsfunktionen $M(x, y)$ weisen eine Raumfrequenz F von höchstens 20 Linien/mm auf. Für eine gute Sichtbarkeit sind Verbindungsstrecken zwischen zwei benachbarten Extremwerten der Überlagerungsfunktionen $M(x, y)$ wenigstens 0.025 mm lang. Die Vorzugswerte für die Raumfrequenz F sind auf höchstens 10 Linien/mm begrenzt und die Vorzugswerte für den Abstand benachbarter Extremwerte betragen wenigstens 0.05 mm. Die Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ variiert somit als makroskopische Funktion im stetigen Bereich langsam im Vergleich zum Reliefprofil $R(x, y)$.

Eine auf die Ebene des Flächenmusters 12 (Fig. 2) projizierte Schnittlinie der Beugungsebene 20 mit der Mittelebene 33 legt eine Spur 36 (Fig. 2) fest. Die Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ weist in jedem Punkt $P(x, y)$ auf den parallel zur Spur 36 liegenden Verbindungsstrecken mit stetigen Abschnitten einen Gradienten $38, \text{grad}(M(x, y))$, auf. Allgemein ist mit dem Gradient 38 die Komponente des $\text{grad}(M(x, y))$ in der Beugungsebene 20 gemeint, da der Beobachter 35 die optisch wirksame Beugungsebene 20 festlegt. Das Beugungsgitter 32 weist in jedem Punkt des Flächenteils 13, 14, 15 eine durch den Gradienten 38 der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ vorbestimmte Neigung γ auf.

Die Deformation der Mittelfläche 33 bewirkt eine neue, vorteilhafte optische Wirkung. Diese Wirkung wird anhand des Beugungsverhaltens in Durchstosspunkten A, B, C der Flächennormale 21 und Normalen 21', 21'' auf die Mittelfläche 33, z.B. längs der Spur 36, erklärt. Die Brechung des einfallenden Lichts 11, des reflektierten Lichts 22 und der gebeugten Lichtstrahlen 34 an den Grenzflächen des Schichtverbunds 1 ist der Einfachheit halber in der Zeichnung der Figur 5 nicht dargestellt und in den nachfolgenden Rechnungen nicht

berücksichtigt. In jedem Durchstosspunkt A, B, C ist die Neigung γ durch den Gradienten 38 bestimmt. Die Normalen 21' und 21'', der Gittervektor des Beugungsgitters 32 (Fig. 4) und eine Betrachtungsrichtung 39 des Beobachters 35 liegen in der Beugungsebene 20. Entsprechend dem Neigungswinkel γ ändert sich der Einfallswinkel α (Fig. 3), den die gestrichelt gezeichneten Normalen 21, 21', 21'' und das weisse, parallel einfallende Licht 11 einschliessen. Damit ändert sich auch die Wellenlänge λ der in einer vorbestimmten Betrachtungsrichtung 39 zum Beobachter 35 abgelenkten gebeugten Lichtstrahlen 34. Ist die Normale 21' vom Betrachter 35 weggeneigt, ist die Wellenlänge λ der gebeugten Lichtstrahlen 34 grösser, als wenn sich die Normale 21'' zum Beobachter 35 hinneigt. In dem zur Illustration gezeigten Beispiel weisen für den Betrachter 35 die im Bereich des Durchstosspunktes A gebeugten Lichtstrahlen 34 eine rote Farbe ($\lambda = 700 \text{ nm}$) auf. Die im Bereich des Durchstosspunktes B gebeugten Lichtstrahlen 34 sind von gelbgrüner Farbe ($\lambda = 550 \text{ nm}$) und die im Bereich des Durchstosspunktes C gebeugten Lichtstrahlen 34 haben eine blaue Farbe ($\lambda = 400 \text{ nm}$). Da sich im gezeigten Beispiel die Neigung γ kontinuierlich über die Wölbung der Mittelfläche 33 ändert, ist für den Beobachter 35 längs der Spur 36 das ganze sichtbare Spektrum auf dem Flächenteil 13, 14, 15 sichtbar, wobei sich Farbbänder des Spektrums auf dem Flächenteil 13, 14, 15 senkrecht zur Spur 36 erstrecken. Damit die Farbbänder des Spektrums für den Beobachter 35 in 30 cm Entfernung erkennbar sind, ist für den Abstand zwischen den Durchstosspunkten A und C wenigstens 2 mm Länge oder mehr zu wählen. Ausserhalb des sichtbaren Spektrums, weist die Oberfläche des Flächenteils 13, 14, 15 ein lichtschwaches Grau auf. Beim Kippen des Schichtverbunds 1 um eine Kippachse 41 senkrecht zur Zeichenebene der Figur 5 verändert sich der Einfallswinkel α . Die sichtbaren Farbbänder der Spektren verschieben sich im Bereich der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ kontinuierlich längs der Spur 36. Bei einem Kippen, z.B. im Uhrzeigersinn um die Kippachse 41, des Schichtverbunds 1 ändert sich die Farbe des gebeugten Lichtstrahls 34 im Durchstosspunkt A ins Gelbgrüne, die Farbe des gebeugten Lichtstrahls 34 im Durchstosspunkt B ins Blaue und die Farbe des gebeugten Lichtstrahls 34 im Durchstosspunkt C ins Violette. Die Veränderung der Farben des gebeugten Lichts

34 empfindet der Beobachter 35 als Wandern der Farbbänder in kontinuierlichen Weise über den Flächenteil 13, 14, 15.

Diese Überlegung ist für jede Beugungsordnung zutreffend. Wie viele Farbbänder von wie vielen Beugungsordnungen der Beobachter auf dem
 5 Flächenteil 13, 14, 15 gleichzeitig erblickt, hängt von der Spatialfrequenz des Beugungsgitters 32 und der Anzahl Perioden und der Amplitude der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ innerhalb des Flächenteils 13, 14, 15 ab.

In einer anderen Ausführung, bei der eine der Mattstrukturen anstelle des Beugungsgitters 32 eingesetzt ist, erblickt der Beobachter 35 in der Richtung des
 10 reflektierten Lichts 22 nur ein helles, weissgraues Band anstelle der Farbbänder. Das helle, weissgraue Band wandert beim Kippen wie die Farbbänder kontinuierlich über die Fläche des Flächenteils 13, 14, 15. Im Gegensatz zu den Farbbänder ist das helle, weissgraue Band für den Beobachter 35 in Abhängigkeit vom Streuvermögen der Mattstruktur auch dann sichtbar, wenn seine
 15 Betrachtungsrichtung 39 schief zur Beugungsebene 20 ist. Nachstehend ist daher mit "Streifen 40" (Fig. 6a) sowohl die Farbbänder einer Beugungsordnung 23, 24, 25 als auch das durch die Mattstruktur erzeugte helle weissgraue Band gemeint.

In der Fig. 6a ist die Verschiebung des Streifens vom Beobachter 35 (Fig. 5) leichter erkennbar, wenn eine Referenz auf dem Sicherheitsmerkmal 16 vorhanden
 20 ist. Als Referenz dienen auf dem Flächenteil 13, 14, 15, beispielsweise auf dem mittleren Flächenteil 14, angeordnete Kennmarken 37 (Fig. 2) und/oder eine vorbestimmte Begrenzungsform des Flächenteils 13, 14, 15. Mit Vorteil legt die Referenz eine vorbestimmte Betrachtungsbedingung fest, die mittels Kippen des Schichtverbunds 1 (Fig. 1) so einstellbar ist, dass der Streifen 40 vorbestimmt
 25 gegenüber der Referenz positioniert ist. Im Bereich der Kennmarken 37 ist die optisch wirksame Struktur 9 (Fig. 1) der Grenzfläche 8 (Fig. 1) mit Vorteil als eine optisch wirksame Struktur 9, eine diffraktive Struktur, Spiegelfläche oder lichtstreuende Reliefstruktur, ausgeführt, die beim Replizieren des Flächenmusters 12 im Register zu den Flächenteilen 13, 14, 15 abgeformt wird. Aber auch ein
 30 lichtabsorbierender Aufdruck auf das Sicherheitsmerkmal 16 ist als Referenz für die Bewegung des Streifens 40 verwendbar oder die Kennmarke 37 ist mittels der strukturierten Reflexionsschicht erzeugt.

In einer weiteren Ausführung des Sicherheitsmerkmals 16 nach den Figuren 6 dienen die beiderseits an das mittlere Flächenteil 14 anschliessenden, benachbarten Flächenteile 13 und 15 als gegenseitige Referenz. Die benachbarten Flächenteile 13 und 15 weisen beide eine Beugungsstruktur $S^*(x, y)$ auf. Die Beugungsstruktur $S^*(x, y)$ ist im Gegensatz zur Beugungsstruktur $S(x, y)$ die Differenz $R-M$ aus der Relieffunktion $R(x, y)$ und der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$, also $S^*(x, y) = R(x, y) - M(x, y)$. Die durch die Beugungsstruktur $S^*(x, y)$ erzeugten Farbbänder weisen einen umgekehrten Farbverlauf gegenüber den Farbbändern der Beugungsstruktur $S(x, y)$ auf, wie dies in der Zeichnung der Figur 6a mittels einer fetten Längsberandung des Streifens 40 angedeutet ist. Für eine gute Sichtbarkeit der optischen Wirkung ohne Hilfsmittel weist das Sicherheitsmerkmal 16 längs der Koordinatenachse y bzw. der Spur 36 eine Abmessung von wenigstens 5 mm, vorzugsweise mehr als 10 mm auf. Die Abmessungen längs der Koordinatenachse x betragen mehr als 0.25 mm, vorzugsweise aber wenigstens 1 mm.

In der Ausführung des Sicherheitsmerkmals 16 gemäss den Figuren 6a bis 6c weist das ovale Flächenteil 14 die nur von der Koordinate y abhängige Beugungsstruktur $S(y)$ auf, während sich die Flächenteile 13 und 15 mit der nur von der Koordinate y abhängigen Beugungsstruktur $S^*(y)$ auf beiden Seiten des ovalen Flächenteils 14 längs der Koordinate y erstrecken. Die Überlagerungsfunktion ist $M(y) = 0.5 \cdot y^2 \cdot K$, wobei K die Krümmung der Mittelfläche 33 ist. Der Gradient 38 (Fig. 5) und der Gittervektor des Beugungsgitters 32 (Fig. 4) bzw. die Vorzugsrichtung der "anisotropen" Mattstruktur sind im wesentlichen parallel bzw. antiparallel auf die Richtung der Koordinate y ausgerichtet.

Im allgemeinen ist der Azimut φ des Gittervektors bzw. der Vorzugsrichtung der Mattstruktur auf eine Gradientenebene bezogen, die durch den Gradienten 38 und die Flächennormale 21 bestimmt ist. Die Vorzugswerte des Azimuts φ sind 0° und 90° . Dabei sind Abweichungen im Azimutwinkel des Gittervektors bzw. der Vorzugsrichtung von $\delta\varphi = \pm 20^\circ$ auf den Vorzugswert zulässig, um in diesem Bereich den Gittervektor bzw. die Vorzugsrichtung als im wesentlichen parallel bzw. senkrecht zur Gradientenebene zu betrachten. An sich ist der Azimut φ nicht auf die genannten Vorzugswerte beschränkt.

Je kleiner die Krümmung K ist, desto höher ist die Geschwindigkeit der Bewegung der Streifen 40 in Richtung der in der Zeichnung der Figuren 6 a und 6c nicht bezeichneten Pfeile pro Winkereinheit der Drehung um die Kippachse 41. Der Streifen 40 ist in der Zeichnung der Figuren 6a bis 6c schmal gezeichnet, um den

5 Bewegungseffekt deutlich darzustellen. Die Breite der Streifen 40 in Richtung der nicht bezeichneten Pfeile ist von der Beugungsstruktur $S(y)$ abhängig.

Insbesondere bei den Farbbändern erstreckt sich der spektrale Farbverlauf über einen grösseren Teil des Flächenteils 13, 14, 15, so dass die Bewegung der Streifen 40 anhand des Wanderns eines Ausschnitts im sichtbaren Spektrum, z.B.

10 des Farbbands Rot, zu beobachten ist.

Die Figur 6b zeigt das Sicherheitsmerkmal 16 nach einer Drehung um die Kippachse 41 in einen vorbestimmten Kippwinkel, unter dem die Streifen 40 der beiden äusseren Flächenteilen 13, 15 und des mittleren Flächenteils 14 auf einer Linie parallel zur Kippachse 41 liegen. Dieser vorbestimmte Kippwinkel ist durch die

15 Wahl der Überlagerungsstruktur $M(x, y)$ bestimmt. In einer Ausführung des Sicherheitselements 2 (Fig. 2) ist auf dem Flächenmuster 12 (Fig. 2) ein vorbestimmtes Muster nur zu sehen, wenn im Sicherheitsmerkmal 16 der oder die Streifen 40 eine vorbestimmte Lage einnehmen, d.h. wenn der Beobachter 35 das Sicherheitselement 2 unter den durch den vorbestimmten Kippwinkel bestimmten

20 Betrachtungsbedingungen betrachtet.

In der Figur 6c sind nach einer weiteren Drehung um die Kippachse 41 die Streifen 40 auf dem Sicherheitsmerkmal 16 wieder auseinandergewandert, wie dies die nicht bezeichneten Pfeile in der Figur 6c andeuten.

Selbstverständlich reichen für das Sicherheitsmerkmal 16 in einer anderen

25 Ausführung eine benachbarte Anordnung aus dem mittleren Flächenteil 14 und einem der beiden Flächenteile 13, 15 aus.

Die Figur 7 zeigt einen Querschnitt längs der Spur 36 (Fig. 2) durch den Schichtverbund 1 z.B. im Bereich des Flächenteils 14 (Fig. 2). Damit der Schichtverbund 1 nicht zu dick und damit schlecht herstellbar bzw. verwendbar

30 wird, ist die Strukturhöhe H_{st} (Fig. 1) der Beugungsstruktur $S(x; y)$ beschränkt. In der nicht massstäblichen Zeichnung der Figur 7 ist beispielhaft die Überlagerungs-

funktion $M(y) = 0.5 \cdot y^2 \cdot K$ links von der Koordinatenachse z , in der sich die Höhe des Schichtverbunds 1 ausdehnt, im Schnitt allein dargestellt. In jedem Punkt $P(x, y)$ des Flächenteils 14 ist der Wert $z = M(x, y)$ auf einen vorbestimmten Hub $H = z_1 - z_0$ begrenzt. Sobald die Überlagerungsfunktion $M(y)$ an einem der Punkte P_1, P_2, \dots, P_n den Wert $z_1 = M(P_j)$ für $j = 1, 2, \dots, n$ erreicht hat, tritt in der Überlagerungsfunktion $M(y)$ eine Unstetigkeitsstelle auf, an der auf der vom Punkt P_0 abgewandten Seite der Wert der Überlagerungsfunktion $M(y)$ jeweils um den Wert H auf die Höhe z_0 reduziert ist, d.h. der in der Beugungsstruktur $S(x, y)$ eingesetzte Wert der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ ist der Funktionswert

$$z = \{M(x, y) + C(x, y)\} \text{ modulo Hub } H - C(x, y).$$

Die Funktion $C(x, y)$ ist dabei betragsmässig auf einen Wertebereich beschränkt, beispielsweise auf den halben Wert der Strukturhöhe H_{St} . Die aus technischen Gründen erzeugten Unstetigkeitsstellen der Funktion

$\{M(x, y) + C(x, y)\} \text{ modulo Hub } H - C(x, y)$ sind nicht als Extremwerte der

Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ zu zählen. Ebenso können in bestimmten Ausführungen die Werte für den Hub H lokal kleiner sein. In einer Ausführung der Beugungsstruktur $S(x, y)$ ist der lokal variierende Hub H dadurch bestimmt, dass der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Unstetigkeitsstellen P_n einen vorbestimmten Wert aus dem Bereich von $40 \mu\text{m}$ bis $300 \mu\text{m}$ nicht überschreitet.

In den Flächenteilen 13 (Fig. 2), 14, 15 (Fig. 2) erstreckt sich die Beugungsstruktur $S(x, y)$ auf beiden Seiten der Koordinatenachse z und nicht nur, wie in der Zeichnung der Figur 7 gezeigt ist, rechts von der Koordinatenachse z .

Wegen der Überlagerung ist die Strukturhöhe H_{St} die Summe aus dem Hub H und der Profilhöhe h (Fig. 4) und gleich dem Wert der Beugungsstruktur $S(x, y)$ im

Punkt $P(x, y)$. Die Strukturhöhe H_{St} ist mit Vorteil kleiner als $40 \mu\text{m}$, wobei bevorzugte Werte der Strukturhöhe $H_{St} < 5 \mu\text{m}$ sind. Der Hub H der

Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ beschränkt sich auf weniger als $30 \mu\text{m}$ und liegt

vorzugsweise im Bereich $H = 0.5 \mu\text{m}$ bis $H = 4 \mu\text{m}$. Die Mattstrukturen besitzen im mikroskopischen Massstab feine Reliefstrukturelemente, die das Streuvermögen

bestimmen und nur mit statistischen Kenngrössen beschrieben werden können, wie z.B. Mittenrauhwert R_a , Korrelationslänge l_c usw., wobei die Werte für den

Mittenrauhwert R_a im Bereich 200 nm bis $5 \mu\text{m}$ liegen mit Vorzugswerten von

$R_a = 150 \text{ nm}$ bis $R_a = 1,5 \text{ } \mu\text{m}$, während die Korrelationslängen l_c zumindest in einer Richtung im Bereich von 300 nm bis $300 \text{ } \mu\text{m}$ liegen, vorzugsweise zwischen $l_c = 500 \text{ nm}$ bis $l_c = 100 \text{ } \mu\text{m}$. Bei den "isotropen" Mattstrukturen sind die statistischen Kenngrößen unabhängig von einer Vorzugsrichtung, während bei den "anisotropen" Mattstrukturen Reliefelemente mit der Korrelationslänge l_c senkrecht zur Vorzugsrichtung ausgerichtet sind. Die Profilhöhe h des Beugungsgitters 32 (Fig. 4) weist einen Wert aus dem Bereich $h = 0,05 \text{ } \mu\text{m}$ bis $h = 5 \text{ } \mu\text{m}$ auf, wobei die Vorzugswerte im engeren Bereich von $h = 0,6 \pm 0,5 \text{ } \mu\text{m}$ liegen. Die Spatialfrequenz f des Beugungsgitters 32 ist aus dem Bereich $f = 300 \text{ Linien/mm}$ bis 3300 Linien/mm gewählt. Ab etwa $F = 2400 \text{ Linien/mm}$ ist das gebeugte Licht 34 (Fig. 5) nur noch in der nullten Beugungsordnung, d.h. in Richtung des reflektierten Lichts 22 (Fig. 5), beobachtbar.

Weitere Beispiele der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ sind:

$$M(x, y) = 0,5 \cdot (x^2 + y^2) \cdot K, \quad M(x, y) = a \cdot \{1 + \sin(2\pi F_x \cdot x) \cdot \sin(2\pi F_y \cdot y)\},$$

$M(x, y) = a \cdot x^{1,5} + b \cdot x, \quad M(x, y) = a \cdot \{1 + \sin(2\pi F_y \cdot y)\}$, wobei F_x bzw. F_y die Raumfrequenz F der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ in Richtung der Koordinatenachse x bzw. y ist. In einer anderen Ausführung des Sicherheitsmerkmals 16 ist die Überlagerungsfunktionen $M(x, y)$ aus einem vorbestimmten Ausschnitt einer anderen Funktion periodisch zusammengesetzt und weist eine oder mehrere Perioden längs der Spur 36 auf.

In der Figur 8a bilden die Überlagerungsfunktion $M(x, y) = 0,5 \cdot (x^2 + y^2) \cdot K$, d.h. eine Kugelkalotte, und die Reliefstruktur $R(x, y)$, d.h. eine "isotrope" Mattstruktur, die Beugungsstruktur $S(x, y)$ (Fig. 7) im z.B. kreisförmig berandeten Flächenteil 14. Der Beobachter 35 (Fig. 5) erkennt bei Tageslicht entsprechend der Betrachtungsrichtung 39 (Fig. 5) einen hellen, weissgrauen Fleck 42 vor einem dunkelgrauen Hintergrund 43, wobei die Position des Flecks 42 im Flächenteil 14 in Bezug auf die Kennmarke 37 und der Kontrast zwischen Fleck 42 und Hintergrund 43 von der Betrachtungsrichtung 39 abhängig sind. Die Ausdehnung des Flecks 42 wird durch das Streuvermögen der Mattstruktur und der Krümmung der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ bestimmt. Das Sicherheitselement 2 (Fig. 2) ist beispielsweise durch Kippen um die Kippachse 41 (Fig. 5) und/oder Drehen um die

Flächennormale 21 (Fig. 5) des Schichtverbunds 1 (Fig. 5) wie in der Figur 8b derart auf die vorbestimmte Betrachtungsrichtung 39 auszurichten, dass sich der Fleck 42 innerhalb der Kennmarke 37 befindet, die beispielsweise in der Mitte des kreisförmig berandeten Flächenteils 14 angeordnet ist.

Die Figur 9 zeigt die lichtbeugende Wirkung der Beugungsstruktur $S(x, y)$ (Fig. 7) in der Beugungsebene 20. Die Reliefstruktur $R(x, y)$ (Fig. 4) ist das Beugungsgitter 32 (Fig. 4) mit einem z.B. sinusförmigen Profil und mit einer Spatialfrequenz f kleiner als 2400 Linien/mm. Der Gittervektor der Reliefstruktur $R(x, y)$ liegt in der Beugungsebene 20. Die Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ im Flächenteil 13 (Fig. 2), 14 (Fig. 2), 15 (Fig. 2) des Sicherheitsmerkmals 16 ist durch die Wirkung der Beugungsstruktur $S(x, y)$ bestimmt, wobei das senkrecht auf den Schichtverbund 1 einfallende Licht 11 unter einem vorbestimmten Betrachtungswinkel $+\vartheta$ bzw. $-\vartheta$ in die positive Beugungsordnung 23 (Fig. 3) bzw. in die negative Beugungsordnung 24 (Fig. 3) abgelenkt wird. In der Beugungsebene 20 schliessen erste Strahlen 44 mit der Wellenlänge λ_1 mit dem einfallenden Licht 11 den Betrachtungswinkel ϑ ein und zweite Strahlen 45 mit der Wellenlänge λ_2 den Betrachtungswinkel $-\vartheta$. Der Beobachter 35 (Fig. 5) erblickt das Flächenteil 13, 14, 15 unter dem Betrachtungswinkel ϑ in der Farbe mit der Wellenlänge λ_1 . Nach einer Drehung des Schichtverbunds 1 in seiner Ebene um 180° erscheint dem Beobachter 35 das Flächenteil 13, 14, 15 unter dem Betrachtungswinkel $-\vartheta$ in der Farbe der Wellenlänge λ_2 . Wenn die Mittelfläche 33 die lokale Neigung $\gamma = 0^\circ$ aufweist, unterscheiden sich die Wellenlängen λ_1 und λ_2 nicht. Für andere Werte der lokalen Neigung γ unterscheiden sich die Wellenlängen λ_1 und λ_2 . Die gepunktet gezeichnete Normale 21' auf die geneigte Mittelfläche 33 schliesst mit dem einfallenden Strahl 11 den Winkel α ein, wobei $\alpha = -\beta = \gamma$. Die ersten Strahlen 44 und die Normale 21' schliessen den Beugungswinkel ξ_1 ein, die zweiten Strahlen 45 und die Normale 21' den Beugungswinkel ξ_2 .

Wegen $\xi_k = \text{asin}(\sin\alpha + m_k \cdot \lambda_k \cdot f)$ und $\alpha = \gamma$ ergibt sich für die beiden ersten Beugungsordnungen 23, 24, d.h. für $m_k = \pm 1$, die Beziehung

$$f \cdot (\lambda_1 + \lambda_2) = 2 \cdot \sin(\vartheta) \cdot \cos(\gamma) \quad (1),$$

woraus folgt, dass für vorbestimmte Werte des Betrachtungswinkels ϑ und der

Spatialfrequenz f die Summe der beiden Wellenlängen λ_1, λ_2 der Strahlen 44, 45 proportional zum Kosinus des lokalen Neigungswinkels γ ist. Die Gleichung (1) ist für andere Ordnungszahlen m leicht herzuleiten. Die Ordnungszahlen m und der Betrachtungswinkel ϑ für eine bestimmte, beobachtbare Farbe sind durch die

5 Spatialfrequenz f bestimmt.

In den Figuren 10a und 10b ist als Beispiel eine Ausführung des Sicherheitsmerkmals 16 dargestellt, wobei in der Figur 10a das Sicherheitselement 2 gegenüber dem Sicherheitselement 2 in der Figur 10b in seiner Ebene um 180° gedreht ist. Die Beugungsebene 20 (Fig. 9) ist mit ihrer Spur 36 dargestellt. In den

10 Figuren 10a und 10b umfasst das Sicherheitsmerkmal 16 die drei Flächenteile 13, 14, 15 mit der Beugungsstruktur $S(x, y) = R(x, y) + M(x, y)$, wobei sich in den drei Flächenteilen 13, 14, 15 die Beugungsstrukturen $S(x, y)$ durch die mit Hilfe der Gleichung (1) bestimmten Werte der lokalen Neigungen γ der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ und der Spatialfrequenz f der Reliefprofile $R(x, y)$ unterscheiden.

15 Ein Hintergrundfeld 46 grenzt an wenigstens ein Flächenteil 13, 14, 15 und weist das Beugungsgitter 32 (Fig. 4) mit dem gleichen Reliefprofil $R(x, y)$ und der dem Hintergrundfeld 46 eigenen Spatialfrequenz f auf. Der Gittervektor des Reliefprofils $R(x, y)$ ist in den Flächenteilen 13, 14, 15 und im Hintergrundfeld 46 parallel zur Spur 36 ausgerichtet. Bei senkrechter Beleuchtung des Sicherheitselements 2 mit

20 weissem Licht 11 (Fig. 9) erstrahlen im Sicherheitsmerkmal 16 in der Ausrichtung der Figur 10a unter dem Betrachtungswinkel $+\vartheta$ die Flächenteile 13, 14, 15 und das Hintergrundfeld 46 in der gleichen Farbe, und dem Beobachter 35 (Fig. 5) scheint das Sicherheitsmerkmal 16 ohne Kontrast in einer einheitlichen Farbe zu leuchten, beispielsweise weisen die abgelenkten ersten Strahlen 44 (Fig. 9) die Wellenlänge

25 λ_1 , z.B. 680 nm (rot), auf. In der in der Figur 10b gezeigten Ausrichtung wird das ganze Sicherheitsmerkmal 16 unter dem Betrachtungswinkel $-\vartheta$ beobachtet. Beispielsweise leuchtet das erste Flächenteil 13 in den zweiten Strahlen 45 (Fig. 9) der Wellenlänge λ_2 , z.B. $\lambda_2 = 570$ nm (gelb), das zweite Flächenteil 14 in den zweiten Strahlen 45 der Wellenlänge λ_3 , z.B. $\lambda_3 = 510$ nm (grün) und das dritte

30 Flächenteil 15 in den zweiten Strahlen 45 der Wellenlänge λ_4 , z.B. $\lambda_4 = 400$ nm (blau). Im Hintergrundfeld 46, in dem die Mittelfläche 33 (Fig. 9) des Beugungsgitters 32 (Fig. 4) die Neigung γ (Fig. 9) mit dem Wert $\gamma = 0$ aufweist, sind

aus Symmetriegründen auch die zweiten Strahlen 45 von der Wellenlänge λ_1 , d.h. die Hintergrundfläche 46 erstrahlt wiederum in der roten Farbe. Der Vorteil dieser Ausführung ist das auffällige optische Verhalten des Sicherheitsmerkmals 16, nämlich der unter einer einzigen vorbestimmten Orientierung des

- 5 Sicherheitselements 2 sichtbare Farbkontrast der nach einer 180°-Drehung des Sicherheitselements 2 um die Flächennormale 21 (Fig. 3) sich ändert bzw. verschwindet. Das Sicherheitsmerkmal 16 dient somit zum Festlegen einer vorbestimmten Orientierung des Sicherheitselements 2 mit dem nicht holographisch kopierbaren Sicherheitsmerkmal 16.

10 Nur der Einfachheit halber ist in jedem Flächenteil 13, 14, 15 eine einheitliche Farbe, d.h. eine konstante Neigung γ , als Beispiel angenommen worden. Im allgemeinen weist das Flächenteil 13, 14, 15 einen Ausschnitt aus der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ auf, so dass sich die Neigung γ im Flächenteil 13, 14, 15 in einer vorbestimmten Richtung kontinuierlich ändert und die Wellenlängen
15 der zweiten Strahlen 45 aus einem Bereich beiderseits der Wellenlänge λ_k stammen. Anstelle der gleichartig begrenzten Flächenteile 13, 14, 15 bilden eine Vielzahl der auf dem Hintergrundfeld 46 angeordneten Flächenteile 13, 14, 15 ein Logo, einen Schriftzug usw.

In der Figur 11 ist die Beugungsstruktur $S(x, y)$ komplizierter aufgebaut. Die
20 Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ ist eine symmetrische, stückweise stetige, periodische Funktion, deren Wert längs der Koordinatenachse x gemäss $z = M(x, y)$ variiert, während $M(x, y)$ längs der Koordinatenachse y einen konstanten Wert z aufweist. Das z.B. rechteckige Flächenteil 13, 14 (Fig. 10), 15 (Fig. 10) ist mit seiner Längsseite parallel zur Koordinate x ausgerichtet und in schmale Teilflächen
25 47 von der Breite b unterteilt, deren Längsseiten parallel zur Koordinatenachse y ausgerichtet sind. Jede Periode $1/F_x$ der Überlagerungsstruktur $M(x, y)$ erstreckt sich über eine Anzahl t der Teilflächen 47, z.B. ist die Anzahl t im Wertebereich von 5 bis 10. Die Breite b soll $10\text{ }\mu\text{m}$ nicht unterschreiten, da sonst die Beugungsstruktur $S(x, y)$ auf der Teilfläche 47 zuwenig definiert ist.

30 Die Beugungsstrukturen $S(x, y)$ der benachbarten Teilflächen 47 unterscheiden sich in den Summanden, dem Reliefprofil $R(x, y)$ und dem der Teilfläche 47 zugeordneten Ausschnitt der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$. Das

Reliefprofil $R_i(x, y)$ der i -ten Teilfläche 47 unterscheidet sich von den beiden Reliefprofilen $R_{i+1}(x, y)$ und $R_{i-1}(x, y)$ der benachbarten Teilflächen 47 um wenigstens einen Gitterparameter, wie Azimut, Spatialfrequenz, Profilhöhe h (Fig. 4) usw. Beträgt die Raumfrequenz F_x bzw. F_y höchstens 10 Linien/mm aber nicht weniger als 2,5 Linien/mm, kann der Beobachter 35 (Fig. 5) auf dem Flächenteil 13, 14, 15 mit dem blossen Auge keine Unterteilung durch die Perioden der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ mehr erkennen. Die Unterteilung und die Belegung der Teilflächen 47 mit der Beugungsstruktur $S(x, y)$ wiederholt sich in jeder Periode der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$. In einer anderen Ausführung des Sicherheitsmerkmals 16 verändert sich das Reliefprofil $R(x, y)$ kontinuierlich als Funktion des Phasenwinkels der periodischen Überlagerungsfunktion $M(x, y)$.

Die in der Figur 11 dargestellten Beugungsstrukturen $S(x, y)$ sind in der Ausführung des in den Figuren 12 dargestellten Sicherheitsmerkmals 16 eingesetzt, das eine neuartige, optische Wirkung bei der Beleuchtung mit weissem Licht 11 entfaltet, wenn das Sicherheitsmerkmal 16 um die zur Koordinatenachse y parallele Kippachse 41 gekippt wird. Das Sicherheitsmerkmal 16 umfasst das dreieckförmige erste Flächenteil 14, das im rechteckigen zweiten Flächenteil 13 angeordnet ist. Im ersten Flächenteil 14 zeichnet sich die Beugungsstruktur $S(x, y)$ dadurch aus, dass sich die Spatialfrequenz f des Reliefprofils $R(x, y)$ in Richtung der Koordinatenachse x innerhalb jeder Periode der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ schrittweise oder kontinuierlich in einem vorbestimmten Spatialfrequenz-Bereich δf verändert, wobei die Spatialfrequenz f_i in der i -ten Teilfläche 47 (Fig. 7) grösser ist als die Spatialfrequenz f_{i-1} in der vorhergehenden $(i-1)$ -ten Teilfläche 47. In jeder Periode weist somit die erste Teilfläche 47 die Spatialfrequenz f mit dem Wert f_A auf. Für die Teilfläche 47 im Minimum der Periode ist die Spatialfrequenz $f = f_M$ und für die am Ende der Periode gelegenen Teilfläche 47 ist der Wert der Spatialfrequenz $f = f_E$, wobei $f_A < f_M < f_E$, wobei $\delta f = f_E - f_A$. Im zweiten Flächenteil 13 zeichnet sich die Beugungsstruktur $S(x, y)$ dadurch aus, dass sich die Spatialfrequenz f des Reliefprofils $R(x, y)$ in Richtung der Koordinatenachse x innerhalb einer Periode der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ von der einen Teilfläche 47 zur nächsten schrittweise oder kontinuierlich verkleinert. In einer Ausführung ist als Beispiel die Beugungsstruktur $S^{**}(x, y) = R(-x, y) + M(-x, y)$ des zweiten

Flächenteils 13 die an der von den Koordinatenachsen y , z aufgespannten Ebene gespiegelte Beugungsstruktur $S(x, y)$ des ersten Flächenteils 14. Die Gittervektoren und die Spur 36 (Fig. 11) der Beugungsebene 20 (Fig. 9) sind in beiden Flächenteilen 13, 14 im wesentlichen parallel zur Kippachse 41 ausgerichtet. Der Gradient 38 liegt im wesentlichen parallel zu der von den Koordinatenachsen x und z aufgespannten Ebene.

In der Figur 12a liegt das Sicherheitsmerkmal 16 in der von den Koordinatenachsen x und y aufgespannten $x - y$ - Ebene, wobei die Betrachtungsrichtung 39 (Fig. 5) mit der Koordinatenachse x einen rechten Winkel bildet. Bei senkrecht einfallendem weissen Licht 11 (Fig. 1) werden die Teilflächen 47 im Bereich der Minima der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ beleuchtet. Da diese Teilflächen 47 bei beiden Beugungsstrukturen $S(x, y)$, $S^{**}(x, y)$ das gleiche Reliefprofil $R(x, y)$ und dieselbe Neigung $\gamma \approx 0^\circ$ aufweisen, stammen die an den beiden Flächenteilen 13, 14 in die Betrachtungsrichtung 39 gebeugten Lichtstrahlen 34 (Fig. 5) aus dem gleichen Bereich des sichtbaren Spektrums, z.B. grün, so dass der Farbkontrast auf dem Sicherheitsmerkmal 16 zwischen dem ersten Flächenteil 14 und dem zweiten Flächenteil 13 verschwindet. Beim Kippen des Sicherheitsmerkmals 16 um die Kippachse 41 tritt der Farbkontrast mit zunehmendem Kippwinkel deutlicher hervor, wie dies in der Figur 12b gezeigt ist. Beim Kippen nach links verschiebt sich die Farbe des ersten Flächenteils 14 in Richtung Rot, da die Teilflächen 47 (Fig. 11) mit den Reliefprofilen $R(x, y)$ wirksam werden, bei denen die Spatialfrequenz f kleiner als f_M ist. Die Farbe des zweiten Flächenteils 13 verschiebt sich in Richtung Blau, da die Teilflächen 47 wirksam werden, bei denen die Spatialfrequenz f des Reliefprofils $R(x, y)$ grösser als f_M ist. In der Figur 12c ist das Sicherheitsmerkmal 1 von der in der Figur 12a gezeigten Lage um die Kippachse 41 nach rechts gekippt. Auch beim Kippen nach rechts tritt der Farbkontrast deutlich hervor, jedoch mit vertauschten Farben. Die Farbe des ersten Flächenteils 14 verschiebt sich in Richtung Blau, da die Teilflächen 47 wirksam werden, bei denen die Spatialfrequenz f des Reliefprofils $R(x, y)$ grösser als der Wert f_M ist, während sich die Farbe des zweiten Flächenteils 13 in Richtung Rot verschiebt, da die Teilflächen 47 (Fig. 11) wirksam werden, bei denen die

Spatialfrequenz f des Reliefprofils $R(x, y)$ der Beugungsstruktur $S^{**}(x, y)$ gegenüber dem Wert f_M abnimmt.

In einer anderen Ausführung der Beugungsstruktur $S(x, y)$ der Figur 11 weist das Reliefprofil $R(x, y)$ in den Teilflächen 47 jeder Periode $1/F_x$ dieselbe

Spatialfrequenz f auf, jedoch unterscheidet sich das Reliefprofil $R(x, y)$ von Teilfläche 47 zu Teilfläche 47 durch seinen Azimutwinkel φ des Gittervektors relativ zur Koordinatenachse y . Innerhalb einer Periode $1/F_x$ ändert sich der Azimutwinkel φ beispielsweise im Bereich $\delta\varphi = \pm 40^\circ$ mit $\varphi \approx 0^\circ$ im Minimum jeder Periode schrittweise oder kontinuierlich. Der Azimutwinkel φ ist in Abhängigkeit von der

lokalen Neigung γ (Fig. 5) der Mittelfläche 33 (Fig. 5) so aus dem Bereich $\delta\varphi$ gewählt, dass einerseits die Beugungsstruktur $S(x, y)$ des ersten Flächenteils 14 (Fig. 12a) bei allen Kippwinkeln um die Kippachse 41 (Fig. 12b, c) gebeugte Lichtstrahlen 34 (Fig. 5) des mittels der Spatialfrequenz f vorbestimmten Farbbereichs, z.B. aus dem Grün - Bereich, in die Betrachtungsrichtung 39 (Fig. 5)

aussendet und andererseits der zweite Flächenteil 13 (12a), in dem die gespiegelte Beugungsstruktur $S^{**}(x, y)$ abgeformt ist, nur unter einem einzigen vorbestimmten Kippwinkel in der vorbestimmten Farbe, z.B. in einer aus dem Grün - Bereich erzeugten Mischfarbe, aufleuchtet. Bei anderen Kippwinkeln ist das zweite Flächenteil 13 dunkelgrau. Für den hier beispielhaft angeführten

Azimutwinkelbereich $\delta\varphi = \pm 20^\circ$ erstreckt sich der Grün - Bereich von der Wellenlänge $\lambda = 530 \text{ nm}$ ($\varphi \approx 0^\circ$) bis zur Wellenlänge $\lambda = 564 \text{ nm}$.

In der Figur 13 ist die in der Beugungsstruktur $S(x, y)$ eingesetzte Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ eine asymmetrische Funktion in Richtung der Koordinatenachse x . Die Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ steigt innerhalb der Periode $1/F_x$ aperiodisch von einem Minimalwert bis zu einem Maximalwert an, z.B. wie die Funktion $y = \text{const} \cdot x^{1,5}$. Die Raumfrequenz F_x bzw. F_y liegt im Bereich von 2,5 Linien/mm bis und mit 10 Linien/mm. Nicht gezeigt sind die Unstetigkeitsstellen, die durch die Operation Modulo Hub H (Fig. 7) entstehen. Die oben beschriebene "anisotrope" Mattstruktur mit der Vorzugsrichtung im wesentlichen parallel zur Koordinatenachse x ist als Reliefprofil $R(x, y)$ eingesetzt. Das einfallende Licht 11 (Fig. 5) wird daher hauptsächlich parallel zur Koordinatenachse y aufgefächert gestreut. Im ersten Flächenteil 14 (Fig. 12a) ist die Beugungsstruktur

$S(x, y) = R(x, y) + M(x, y)$ und im zweiten Flächenteil 13 (Fig. 12a) ist die Beugungsstruktur $S^{**}(x, y) = R(-x, y) + M(-x, y)$ abgeformt. Anhand der Figur 12a ist die optische Wirkung des Sicherheitsmerkmals 16 bei senkrecht auf die $x - y$ - Ebene einfallendem Licht 11 (Fig. 9) erklärt. Liegt das Sicherheitsmerkmal 16 in der $x - y$ - Ebene, wird das einfallende Licht 11 mit grosser Intensität von der Mattstruktur im Bereich der Minima der Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ gestreut, die Streuwirkung der übrigen Flächenteile 47 der Beugungsstrukturen $S(x, y)$, $S^{**}(x, y)$ ist zu vernachlässigen. Das von den Flächenteilen 13, 14 rückgestreute Licht weist die Farbe des einfallenden Lichts 11 (Fig. 5) auf und hat in beiden Flächenteilen 13, 14 die gleiche Flächenhelligkeit, so dass kein Kontrast zwischen den beiden Flächenteilen 13, 14 erkennbar ist. In der Figur 12 b trifft das einfallende Licht 11 (Fig. 5) unter einem Einfallswinkel α auf das Sicherheitsmerkmal 16, das nach links um die Kippachse 41 gekippt ist. Nur noch im zweiten Flächenteil 13 wird das einfallende Licht 11 (Fig. 5) gestreut. Bei dieser Beleuchtungsbedingung ist die Flächenhelligkeit des ersten Flächenteils 14 um Grössenordnungen kleiner als beim zweiten Flächenteil 13, so dass sich das erste Flächenteil 14 als dunkle Fläche gegen das helle zweite Flächenteil 13 abhebt. In der Figur 12c ist das Sicherheitsmerkmal 16 nach rechts weggekippt, wobei nun die Flächenhelligkeiten der beiden Flächenteile 13, 14 vertauscht sind.

In den Figuren 12a bis 12c könnten anstelle eines einzigen dreieckförmigen ersten Flächenteils 14 auf dem zweiten Flächenteil 13 eine Vielzahl der ersten Flächenteile 14 angeordnet sein, die ein Logo, einen Schriftzug usw. bilden.

In einer weiteren Ausführung finden anstelle der einfachen mathematischen Funktionen auch Reliefbilder, wie sie auf Münzen und Medaillen verwendet werden, als wenigstens stückweise stetige Überlagerungsfunktion $M(x, y)$ in der Beugungsstruktur $S(x, y)$ Verwendung, wobei mit Vorteil das Reliefprofil $R(x, y)$ eine "isotrope" Mattstruktur ist. Der Beobachter des Sicherheitselements 2 in dieser Ausführung erhält den Eindruck eines dreidimensionalen Bildes mit einer charakteristischen Oberflächenstruktur. Beim Drehen und Kippen des Sicherheitselements 2 verändert sich die Helligkeitsverteilung im Bild entsprechend der Erwartung bei einem echten Reliefbild, jedoch werfen vorragende Elemente keinen Schatten.

Ohne von der Idee der Erfindung abzuweichen, sind alle Beugungsstrukturen S in ihrer Strukturhöhe auf den Wert H_{St} (Fig. 1) beschränkt, wie dies anhand der Figur 7 erläutert wurde. Die in den oben beschriebenen, speziellen Ausführungen verwendeten Reliefprofile $R(x, y)$ und Überlagerungsfunktionen $M(x, y)$ sind beliebig
5 zu anderen Beugungsstrukturen $S(x, y)$ kombinierbar.

Die Verwendung der oben beschriebenen Sicherheitsmerkmale 16 im Sicherheitselement 2 weist den Vorteil auf, dass das Sicherheitsmerkmal 16 eine wirksame Barriere gegen Versuche bildet, das Sicherheitselement 2 holographisch zu kopieren. In einer holographischen Kopie sind die Lageverschiebungen bzw.
10 Farbverschiebungen auf der Fläche des Sicherheitsmerkmals 16 nur in veränderter Form zu erkennen.

5

Patentansprüche:

- 10 1. Sicherheitselement (2) aus einem Schichtverbund (1) mit zwischen Schichten
(5; 6) des Schichtverbunds (1) eingebetteten, mikroskopisch feinen optisch
wirksamen Strukturen (9) eines Flächenmusters (12), wobei die optisch
wirksamen Strukturen (9) in Flächenteilen (13; 14; 15) eines
Sicherheitsmerkmals (16) in einer von Koordinatenachsen (x; y) aufgespannten
15 Ebene des Flächenmusters (12) in eine reflektierende Grenzfläche (8)
zwischen den Schichten (5; 6) abgeformt sind,
dadurch gekennzeichnet,
dass wenigstens ein Flächenteil (13; 14; 15) mit Abmessungen grösser als
0,4 mm eine durch additive bzw. subtraktive Überlagerung einer eine
20 makroskopische Struktur beschreibenden Überlagerungsfunktion (M) mit einem
mikroskopisch feinen Reliefprofil (R) gebildete Beugungsstruktur (S; S*; S**)
aufweist, wobei die Überlagerungsfunktion (M), das Reliefprofil (R) und die
Beugungsstruktur (S; S*; S**) Funktionen der Koordinaten (x; y) sind und das
Reliefprofil (R) eine lichtbeugende oder lichtstreuende optisch wirksame
25 Struktur (9) beschreibt, die der Überlagerungsfunktion (M) folgend das
vorbestimmte Reliefprofil (R) beibehält, und dass die wenigstens stückweise
stetige Überlagerungsfunktion (M) wenigstens in Teilbereichen gekrümmt ist,
keine periodische Dreieck- oder Rechteckfunktion ist und sich im Vergleich zum
Reliefprofil (R) langsam ändert.

30

2. Sicherheitselement (2) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Sicherheitsmerkmal (16; 16') wenigstens zwei benachbarte
Flächenteile (13; 14; 15) aufweist, und dass im ersten Flächenteil (14) die
5 erste Beugungsstruktur (S) und im zweiten Flächenteil (13; 15) die sich von
der ersten Beugungsstruktur (S) unterscheidende zweite Beugungsstruktur
(S*; S**) abgeformt sind, wobei der Gittervektor bzw. die Vorzugsrichtung
des ersten Reliefprofils (R) im ersten Flächenteil (14) und der Gittervektor
bzw. die Vorzugsrichtung des zweiten Reliefprofils (R) im zweiten Flächenteil
10 (13; 15) im wesentlichen parallel gerichtet sind.

3. Sicherheitselement (2) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Überlagerungsfunktion (M) eine asymmetrische, stückweise stetige,
15 periodische Funktion mit der Raumfrequenz (F) von höchstens 5 Linien/mm ist.

4. Sicherheitselement (2) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Überlagerungsfunktion (M) ein Reliefbild beschreibt.
20

5. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass in der Beugungsstruktur (S; S*; S**) der Gittervektor bzw. die
Vorzugsrichtung des Reliefprofils (R) im wesentlichen parallel zu einer
25 Gradientenebene liegt, die durch den Gradienten (38) der Überlagerungs-
funktion (M) und eine senkrecht auf der Oberfläche des Schichtverbunds (1)
stehende Flächennormale (21) bestimmt ist.

6. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
30 dadurch gekennzeichnet,
dass in einem ersten Flächenteil (14) die erste Beugungsstruktur (S) aus der
Summe aus dem Reliefprofil (R) und der Überlagerungsfunktion (M) gebildet

ist, und dass in einem zweiten Flächenteil (13; 15) die Beugungsstruktur (S^*) die Differenz ($R - M$) aus dem gleichen Reliefprofil (R) und der gleichen Überlagerungsfunktion (M) ist.

- 5 7. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass in der Beugungsstruktur (S ; S^* ; S^{**}) der Gittervektor bzw. die
 Vorzugsrichtung des Reliefprofils (R) im wesentlichen senkrecht zu einer
 Gradientenebene liegt, die durch den Gradienten (38) der Überlagerungs-
 10 funktion (M) und eine senkrecht auf der Oberfläche des Schichtverbunds (1)
 stehende Flächennormale (21) bestimmt ist.
8. Sicherheitselement (2) nach Anspruch 2 oder 3 oder 7,
 dadurch gekennzeichnet,
 15 dass im ersten Flächenteil (14) die erste Beugungsstruktur (S) aus der Summe
 aus dem Reliefprofil (R) und der Überlagerungsfunktion (M) gebildet ist, und
 dass im zweiten Flächenteil (13; 15) die Beugungsstruktur (S^{**}) die gespiegelte
 erste Beugungsstruktur (S) ist.
- 20 9. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass auf wenigstens einem der Flächenteile (13; 14; 15) wenigstens eine
 Kennmarke (37) angeordnet ist, und dass die Kennmarke (37) eine
 vorbestimmte Betrachtungsrichtung (39) festlegt, wobei wenigstens ein durch
 25 gebeugtes Licht (34) erhellter, mittels Kippen und Drehen des
 Sicherheitsmerkmals (16) auf dem beleuchteten Flächenteil (13; 14; 15)
 verschiebbarer Streifen (40) bzw. Fleck (42) auf die Kennmarke (37)
 ausgerichtet ist.
- 30 10. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass in wenigstens einem Flächenteil (13; 14; 15) die Beugungsstruktur (S) die

Summe der Überlagerungsfunktion (M) und einer mittels des Reliefprofils (R) beschriebenen Beugungsstruktur (32) mit einer Spatialfrequenz (f) ist und die Überlagerungsfunktion (M) eine lokale Neigung (γ) aufweist, dass bei senkrechter Beleuchtung mit weissem Licht (11) am Flächenteil (13; 14; 15) gebeugtes Licht (34) unter zum einfallenden Licht (11) vorbestimmten, symmetrischen Betrachtungswinkeln ($+\vartheta$; $-\vartheta$) abgelenkt ist, dass das gebeugte Licht (34) unter dem einen Betrachtungswinkel ($+\vartheta$) erste Strahlen (44) einer ersten Wellenlänge (λ_1) und unter dem anderen Betrachtungswinkel ($-\vartheta$) zweite Strahlen (45) einer zweiten Wellenlänge (λ_2) umfasst, wobei für den vorbestimmten Betrachtungswinkel (ϑ) und die vorbestimmte Spatialfrequenz (f) die Summe der beiden Wellenlängen (λ_1 ; λ_2) der Strahlen (44; 45) proportional zum Kosinus der lokalen Neigung (γ) ist.

11. Sicherheitselement (2) nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,
dass das Flächenteil (13; 14; 15) an ein Hintergrundfeld (46) des Sicherheitsmerkmals (16) grenzt, dass das Beugungsgitter (32) mit dem Reliefprofil (R) in das Hintergrundfeld (46) abgeformt ist, und dass die Spatialfrequenz (f) des Beugungsgitters (32) so bemessen ist, dass unter den Betrachtungswinkeln ($+\vartheta$; $-\vartheta$) die ersten Strahlen (44) und die zweiten Strahlen (45) die erste Wellenlänge (λ_1) aufweisen.

12. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet,
dass in jeder Periode der Überlagerungsfunktion (M) die Azimutwinkel (φ) und/oder die Spatialfrequenzen (f) des Reliefprofils (R) entsprechend der lokalen Neigung (γ) der Überlagerungsfunktion (M) schrittweise in Teilflächen (46) oder kontinuierlich in einem vorbestimmten Azimutwinkelbereich ($\delta\varphi$) bzw. in einem vorbestimmten Spatialfrequenz- Bereich (δf) verändert sind.

13. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass das Reliefprofil (R) ein Beugungsgitter (32) mit einer Spatialfrequenz (f)
 grösser als 300 Linien/mm ist.

5

14. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass das Reliefprofil (R) eine Mattstruktur ist.

- 10 15. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass im Flächenteil (13, 14, 15) benachbarte Extremwerte der
 Überlagerungsfunktion (M) um wenigstens 0.025 mm von einander entfernt
 sind.

15

16. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass die Beugungsstruktur (S; S*; S**) auf eine Strukturhöhe (H_{ST}) von weniger
 als 40 μm und die Überlagerungsfunktion (M) auf einen Hub (H) von weniger
 20 als 30 μm beschränkt sind, wobei der in der Beugungsstruktur (S; S*; S**) eingesetzte Wert z der Überlagerungsfunktion (M) gleich $\{(M) + C(x; y)\}$ modulo
 Hub (H) - C(x; y) ist, wobei die Funktion C(x; y) betragsmässig auf die halbe
 Strukturhöhe (H_{ST}) beschränkt ist.

- 25 17. Sicherheitselement (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 16,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass Flächenelemente (17; 18; 19) mit den optisch wirksamen Strukturen (9)
 Teile des Flächenmusters (12) sind, und dass wenigstens eines der
 Flächenelemente (17; 18; 19) an das Sicherheitsmerkmal (16) angrenzt.

30

5

ZUSAMMENFASSUNG:

Ein schwer kopierbares Sicherheitselement (2) umfasst einen Schichtverbund (1), der zwischen zwei Schichten (5; 6) des Schichtverbunds (1) eingebettete, mikroskopisch feine optisch wirksame Strukturen (9) eines Flächenmusters aufweist. In einer von Koordinatenachsen x und y aufgespannten Ebene des Flächenmusters sind in eine Grenzfläche (8) zwischen den Schichten (5; 6) in Flächenteilen eines holographisch nicht kopierbaren Sicherheitsmerkmals die optisch wirksamen Strukturen (9) abgeformt. In wenigstens einem Flächenteil ist die optisch wirksame Struktur (9) eine durch additive Überlagerung einer makroskopischen Überlagerungsfunktion (M) mit einem mikroskopisch feinen Reliefprofil (R) gebildete Beugungsstruktur (S, S^*, S^{**}). Sowohl das Reliefprofil (R), die Überlagerungsfunktion (M) als auch die Beugungsstruktur (S, S^*, S^{**}) sind Funktionen der Koordinaten x und y . Das Reliefprofil (R) ist eine lichtbeugende oder lichtstreuende optisch wirksame Struktur (9) und behält, der Überlagerungsfunktion (M) folgend, die vorbestimmte Profilhöhe bei. Die Überlagerungsfunktion (M) ist wenigstens stückweise stetig und keine periodische Dreieck- oder Rechteckfunktion. Im Vergleich zum Reliefprofil (R) ändert sich die Überlagerungsfunktion (M) langsam. Beim Kippen und Drehen des Schichtverbunds (1) erblickt der Beobachter auf den beleuchteten Flächenteilen helle, von der Betrachtungsrichtung abhängige, kontinuierlich wandernde Streifen.

(Fig. 1)

Fig. 1

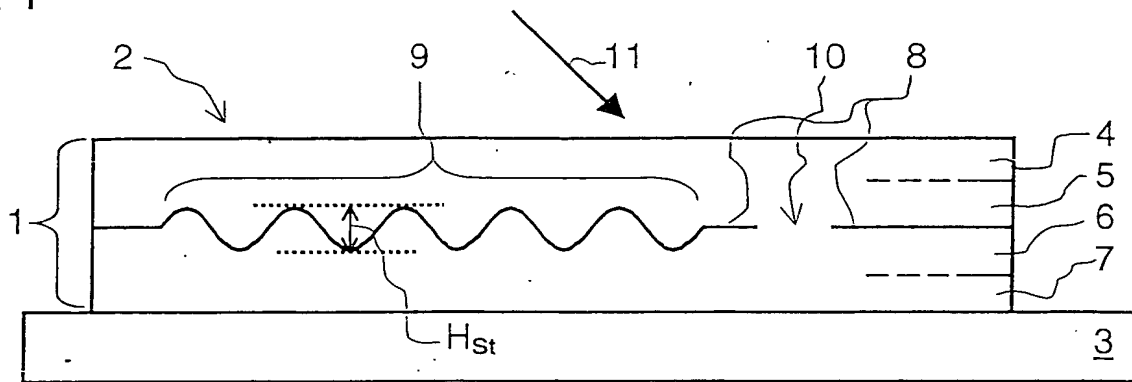


Fig. 2

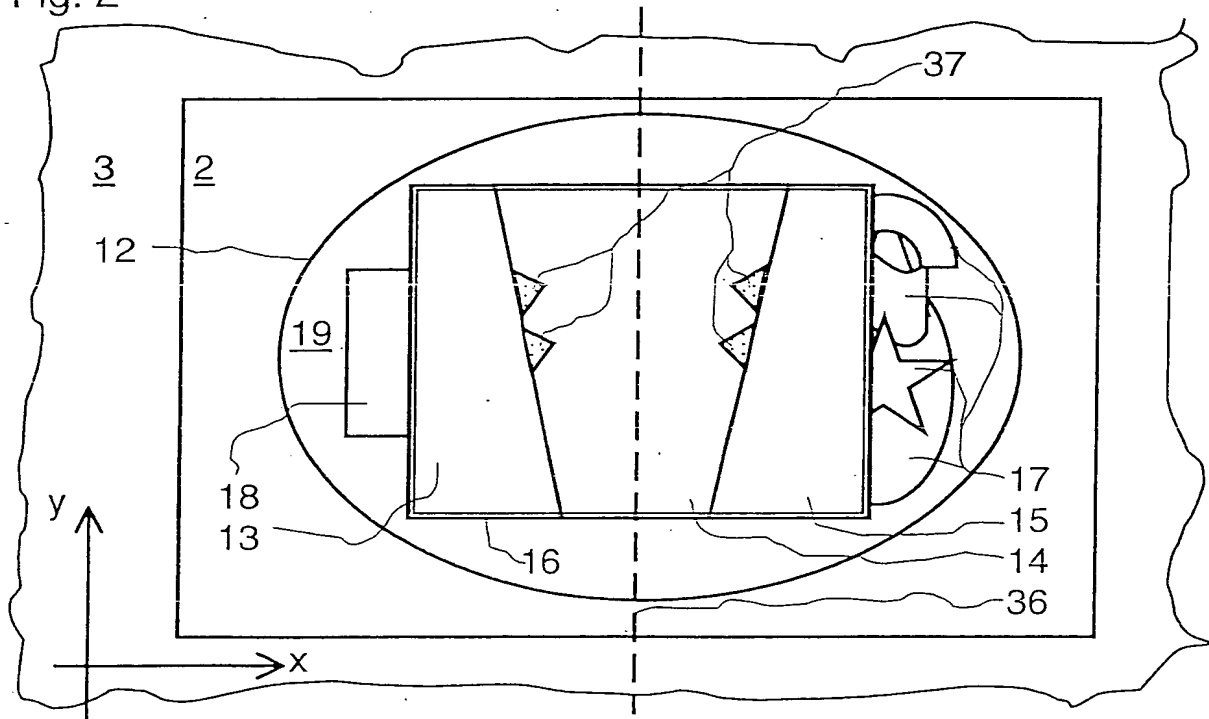


Fig. 3

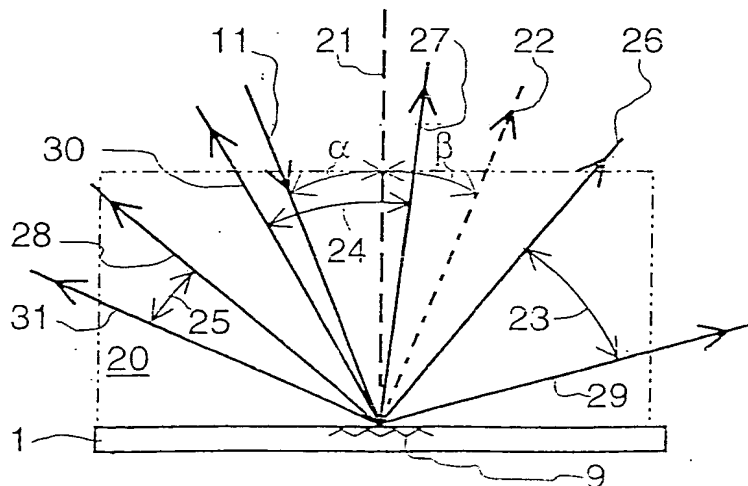


Fig. 4

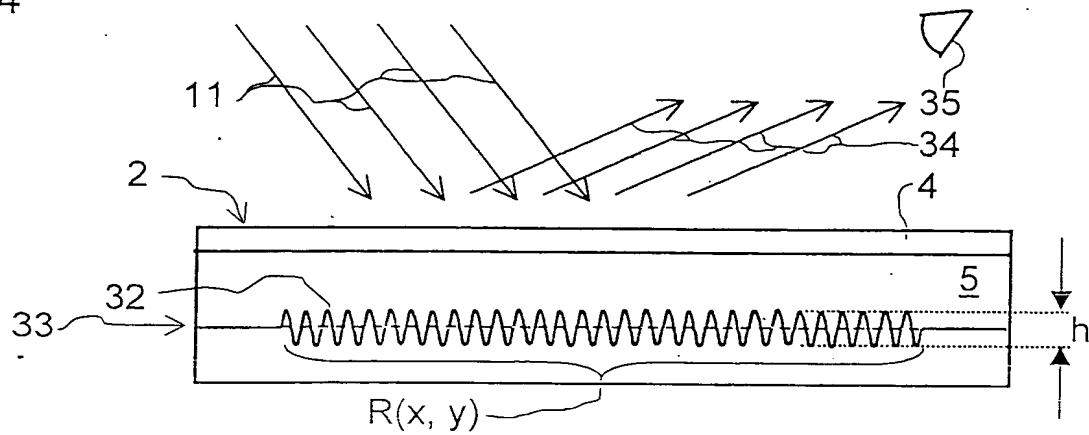


Fig. 5

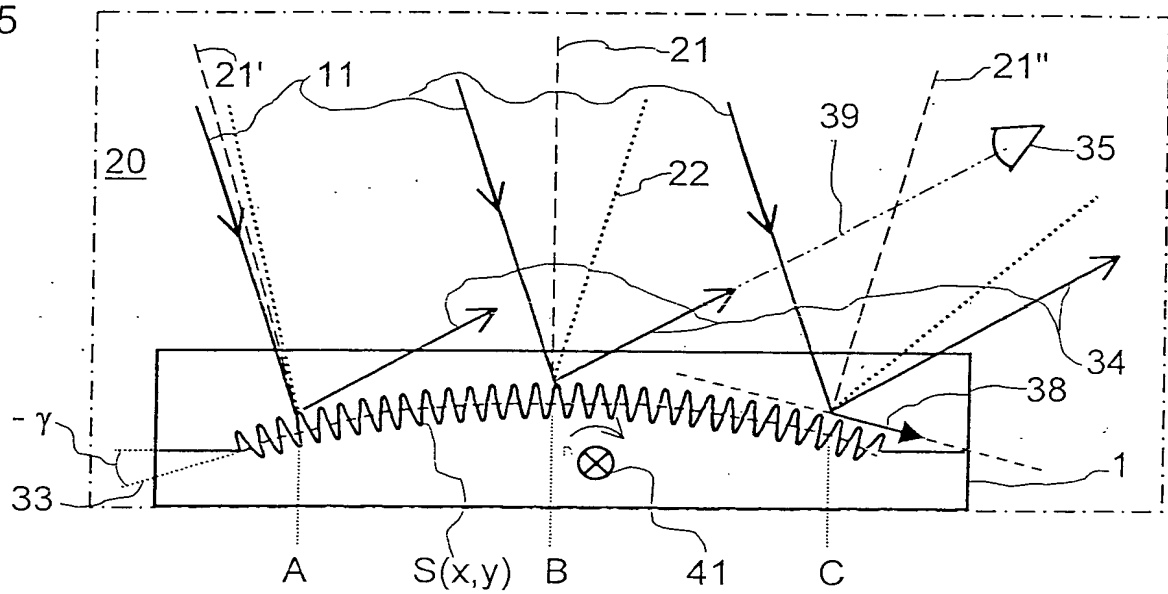


Fig. 6a

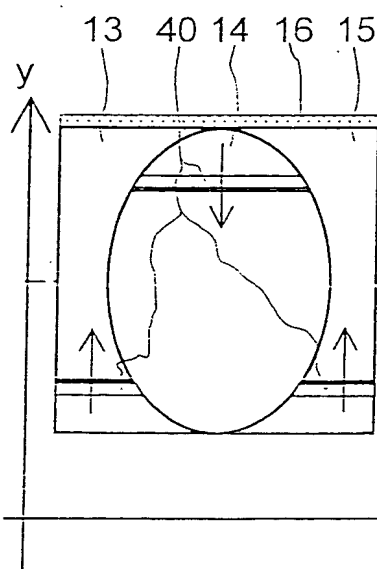


Fig. 6b

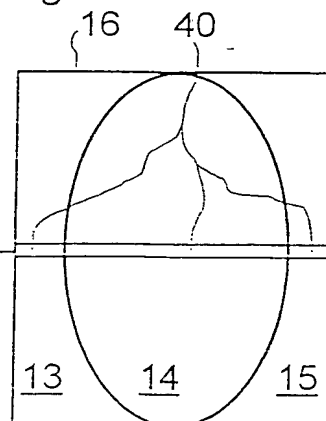


Fig. 6c

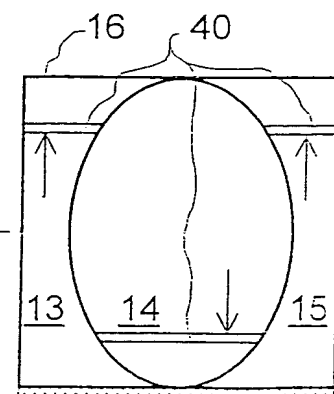


Fig. 7

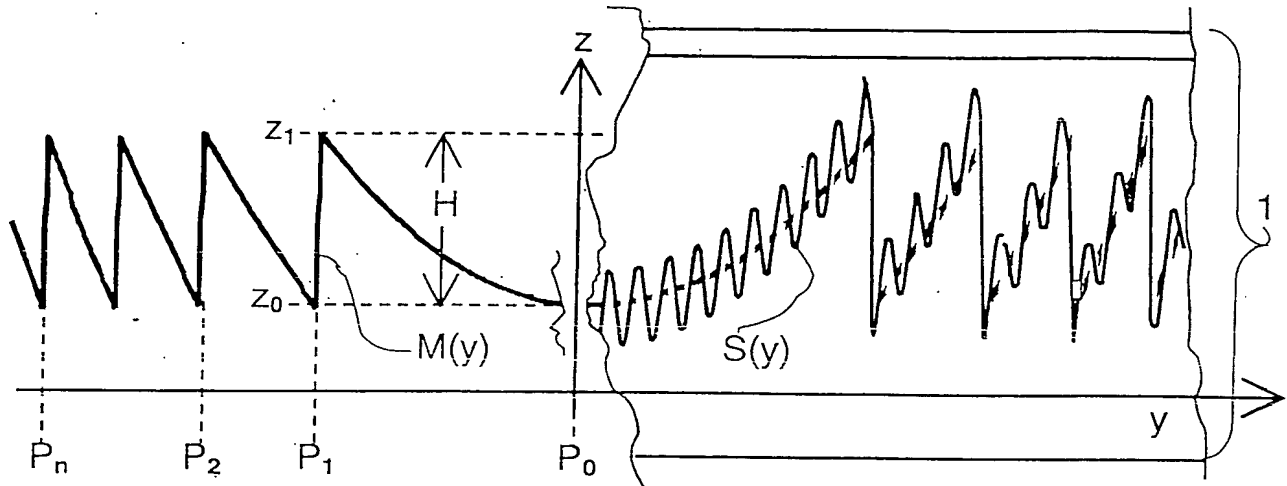


Fig. 8a

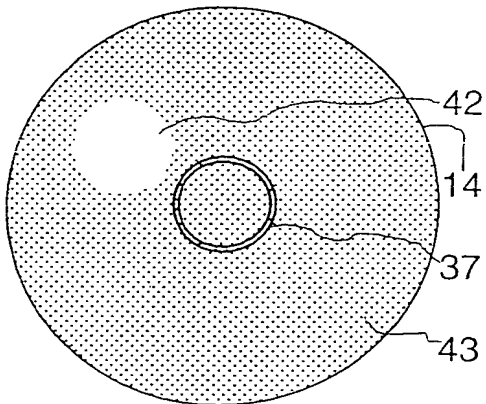


Fig. 8b

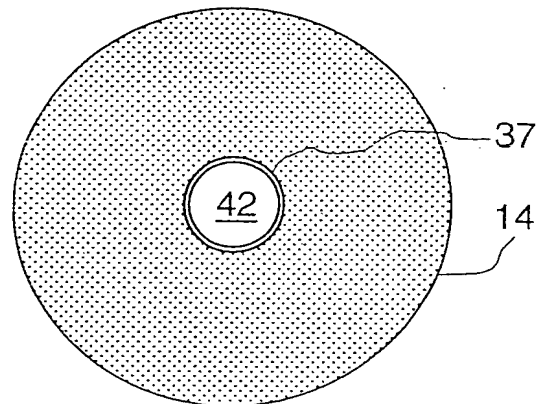


Fig. 9

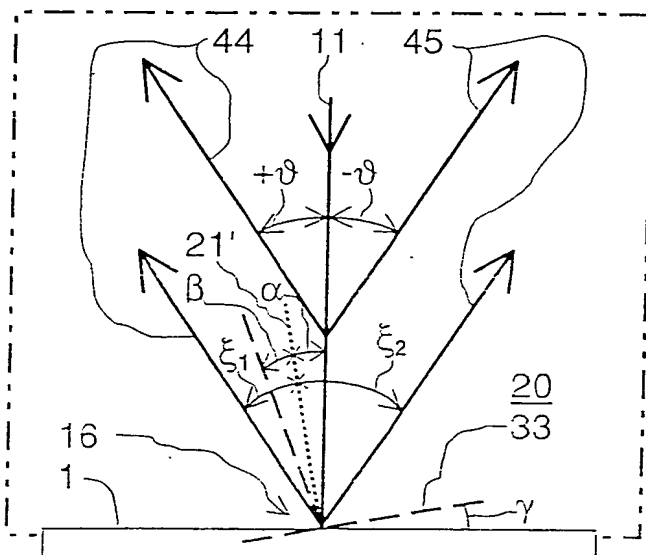


Fig. 10a

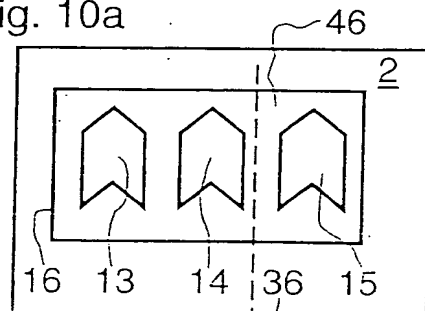


Fig. 10b

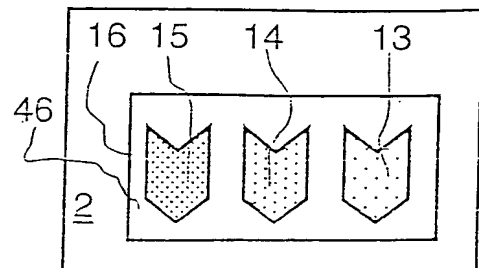


Fig. 11

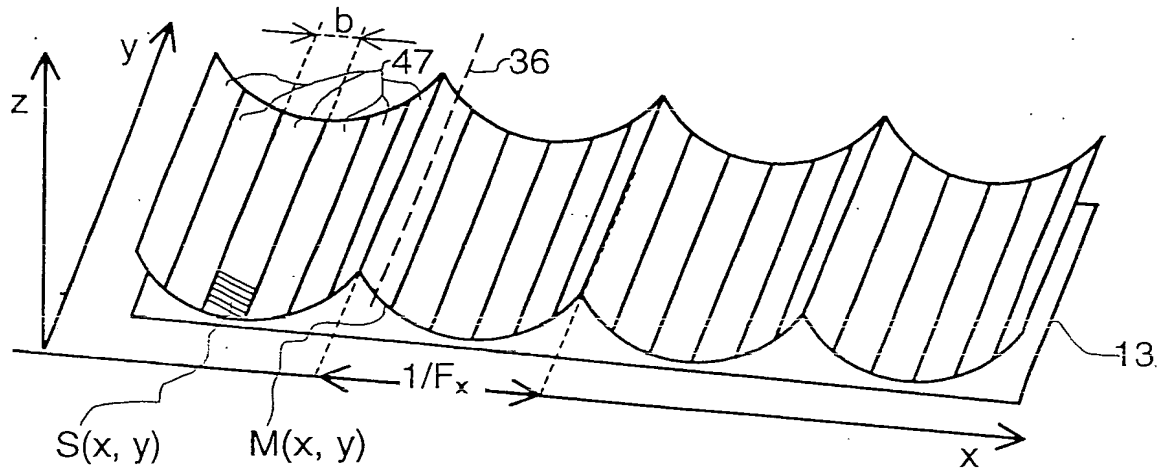


Fig. 12a

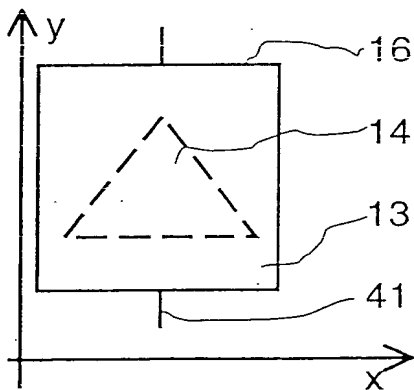


Fig. 12b

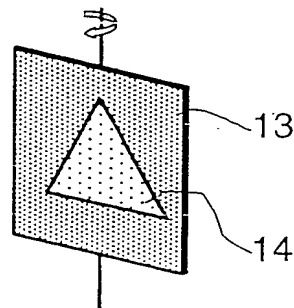


Fig. 12c

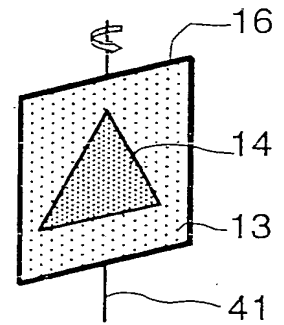


Fig. 13

